

ДЕТОНАЦИОННЫЙ СПОСОБ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ОБЛИЦОВОК ЗАРЯДОВ КУМУЛЯТИВНЫХ ПЕРФОРАТОРОВ¹

***В.В. Калашиников, Д.А. Деморецкий, М.В. Ненашев, О.В. Трохин,
П.В. Рогожин, И.В. Нечаев, С.Ю. Ганигин, А.А. Андреев***

Самарский государственный технический университет
443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Предложен новый способ и технология изготовления многослойных облицовок кумулятивных зарядов с использованием порошковых материалов, основанный на нанесении покрытия из высокоплотного материала детонационным способом на металлическую заготовку. Приведены результаты испытаний зарядов кумулятивных перфораторов с облицовками, изготовленными с применением предложенной технологии, по пробитию стальных мишеней. Показано, что применение предлагаемой технологии позволяет повысить эффективность действия кумулятивных зарядов до 26 %.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, кумулятивная облицовка, кумулятивная струя, детонационное покрытие.

Введение

В настоящее время для перфорации нефте- и газодобывающих скважин в подавляющем большинстве случаев применяются кумулятивные заряды (КЗ). Прострелочно-взрывные работы имеют важное, часто решающее значение для достижения максимально возможной отдачи пластов, сокращения сроков освоения, капитальных ремонтов и восстановления скважин. Одним из основных элементов КЗ, определяющим пробивную способность изделий, является кумулятивная облицовка (КО). В настоящее время основными направлениями совершенствования КО являются улучшение физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств и структуры материала облицовки, оптимизация геометрической формы и размеров облицовки, разработка различных вариантов многослойных и комбинированных облицовок [1]. Возрастание пробивной способности также связывается с использованием КО из тугоплавких высокоплотных материалов (сплавы вольфрама, обедненный уран). Известны также разработки КЗ [2], у которых внутренний слой КО изготовлен из порошкового псевдосплава вольфрам-медь, полученного методом механического легирования и др.

¹ Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по государственному контракту №16.518.11.7049 с использованием оборудования УСУ «Научно-исследовательский комплекс «Роща» и с использованием научного оборудования центра коллективного пользования СамГТУ «Исследование физико-химических свойств веществ и материалов».

Владимир Васильевич Калашиников – академик РАН, д.т.н., профессор.

Дмитрий Анатольевич Деморецкий – д.т.н., профессор.

Максим Владимирович Ненашев – д.т.н., профессор.

Олег Вадимович Трохин – к.т.н.

Павел Викторович Рогожин – аспирант.

Илья Владимирович Нечаев – к.т.н., доцент.

Сергей Юрьевич Ганигин – к.т.н., доцент.

Алексей Александрович Андреев – студент.

Детонационный способ изготовления многослойных кумулятивных облицовок

Для повышения пробивной способности КЗ в СамГТУ предложен принципиально новый способ изготовления многослойных КО, основанный на нанесении покрытия из высокоплотного порошкового материала детонационным способом на металлическую заготовку (облицовку) [3]. Покрытие наносится детонационной пушкой, в которой продукты взрыва газообразной детонирующей смеси и конденсированного ВВ имеют температуру до 4000°C и начальную скорость (на выходе из ствола) более 1 км/с [4]. Газовый поток разогревает и расплавляет (полностью или частично) частицы введенного в ствол порошка и метает их с высокой скоростью на поверхность КО (заготовки), установленную перед стволом пушки. При этом происходит микросварка частиц метаемого материала с поверхностью подложки.

Во время детонационного напыления облицовка устанавливается в специальном держателе, закрепленном в патроне системы позиционирования, которая обеспечивает равномерное возвратно-поступательное и вращательное движение относительно ствола установки. Параметры движения облицовки синхронизированы в соответствии с частотой выстрелов высокоплотным порошком. Количество выстрелов составляет $1..8$ выстрелов в секунду. Для нанесения детонационного покрытия применяется управляющая программа, что обеспечивает требуемую равномерность покрытия при нанесении нескольких последовательных слоев.

Одним из главных факторов, влияющих на прочностные свойства облицовки, получаемой методом детонационного напыления, является скорость частиц напыляемого порошка. Для получения необходимого сцепления напыляемые частицы должны иметь достаточную скорость при соударении с основой.

С целью определения скорости частиц при помощи электронно-оптической стробируемой цифровой камеры фиксировалось движение газопорошкового потока на выходе из ствола детонационной установки. Эксперименты проводились при различных коэффициентах заполнения ствола детонирующей смесью: 50, 60, 70, 80, 90 %. В экспериментах использовался порошок 88 WC/Co 12. Фотосъёмка проводилась через определённое время от момента инициирования ($T = 299\text{ мкс}$) с одинаковым для всех экспериментов временем экспозиции ($t_{\text{э}} = 20\text{ мкс}$) (см. рис.1).

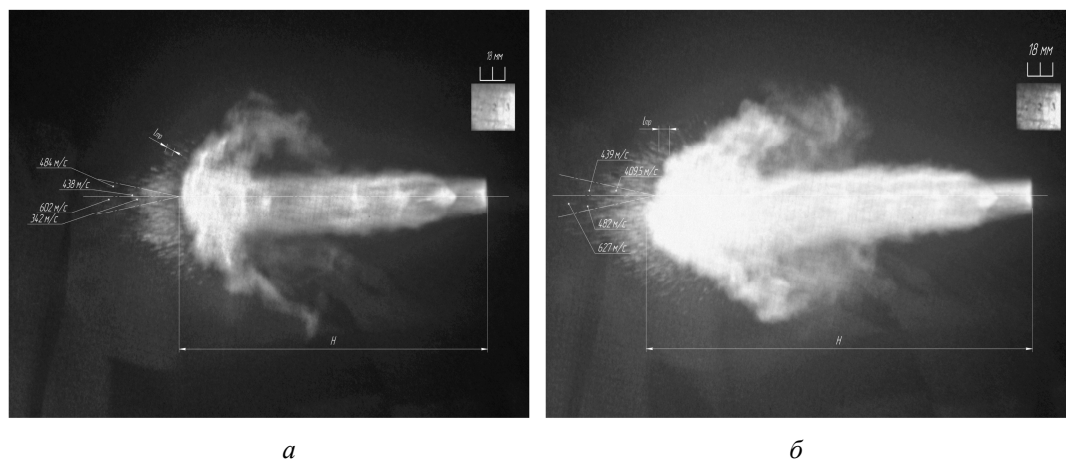


Рис. 1. Процесс детонационного напыления при коэффициенте заполнения ствола газовой смесью: а – 50 %, б – 60 %

На основе полученных результатов построена зависимость массы газовой детонирующей смеси от скорости частиц порошка (см. рис. 2).

Установлено, что при увеличении массы детонирующей газовой смеси происходит возрастание скорости частиц напыляемого порошка. Во всем диапазоне изменения массы смеси скорость частиц превышает скорость звука в воздухе.

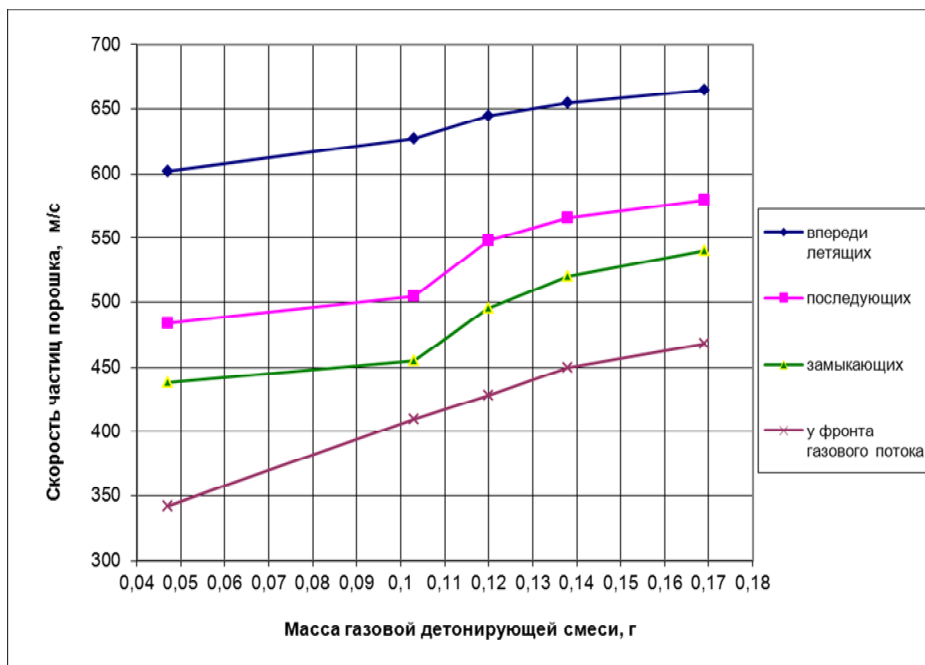


Рис. 2. Зависимость скорости истечения частиц порошка от массы детонирующей смеси



Рис. 3. Зависимость прочности сцепления покрытия с подложкой от массы детонирующей смеси

Результаты экспериментов определению величины адгезии покрытия из карбида вольфрама к медной подложке (см. рис. 3) показали, что при коэффициенте заполне-

ния ствола детонационной установки 60 % (соответствует массе газовой смеси 0,12 г) прочность сцепления покрытия с подложкой составляет 25 МПа.

Достоинствами предлагаемого способа являются: низкая пористость формируемого покрытия, высокая адгезия с материалом подложки, незначительное термическое воздействие, позволяющее избегать нежелательных термонапряжений и коробления тонкостенных облицовок за счет импульсного характера процесса, быстрота процесса (напыляемый слой формируется за несколько секунд).

Многослойная облицовка может изготавливаться либо равномерной по толщине, либо с переменной толщиной порошковых слоев и с изменением плотности по толщине облицовки для управления процессом формирования струи и градиентом скорости КС. Возможно удаление первичного слоя из листового материала механическим или другим способом.

Для формирования многослойной облицовки методом детонационного напыления могут использоваться различные порошки металлов, сплавы порошков со связующими добавками, а также различные порошковые смеси, в том числе медь, молибден, тантал, вольфрам, кобальт, ниобий и карбид вольфрама, плакированный кобальтом и др.

Известно, что глубина пробития преград кумулятивной струей возрастает с увеличением плотности и длины струи [1]. В результате того, что облицовка имеет многослойное исполнение, обеспечивается возможность увеличения плотности материала кумулятивной струи при сохранении оптимальной массы КО. Это достигается за счет использования для изготовления внутреннего слоя, из которого формируется струя, высокоплотного материала, а для изготовления внешнего слоя – материала, обладающего более низкой плотностью, например алюминия, меди и др.

Предлагается исполнение кумулятивной облицовки как с прогрессивно уменьшающейся, так и с прогрессивно увеличивающейся толщиной напыленного слоя от основания к вершине облицовки. Это позволяет регулировать скорость элементов кумулятивной струи, ее градиент и выход металла облицовки в струю. При использовании двух и более дозаторов реализуется изменение плотности по толщине облицовки за счет одновременного использования различных порошковых материалов и их смесей. Возможно создание нескольких слоев, как на внутренней, так и на наружной поверхности исходной заготовки.

Выполненное математическое моделирование [3] показало возможность увеличения глубины пробития зарядов ЗПКС-80 на 20...25 % при нанесении покрытия на внутреннюю поверхность КО, при этом максимальная эффективность изделий наблюдается при толщине покрытия 0,2...0,3 мм.

С применением предлагаемой технологии изготовлены опытные образцы КО с толщиной покрытия 0,1...0,5 мм и заряды ЗПКС-80 на их основе, применяемые для перфорации нефте- и газодобывающих скважин.

Изготовленные опытные образцы взрывных устройств подверглись сравнительным испытаниям совместно со штатными изделиями. Испытания проводились совместно с ФКП «Чапаевский механический завод» по пробитию пакета стальных пластин (толщина каждой пластины в пакете – 10 мм). Результаты проведенных испытаний представлены на рис. 4 в виде зависимостей глубины пробития мишени от толщины покрытия внутренней поверхности КО.

Из рис. 4 видно, что максимальная глубина пробития стальной мишени зарядом ЗПКС-80 (95 мм) соответствует толщине покрытия из карбида вольфрама толщиной 0,4 мм, нанесенного на конусную заготовку из алюминия толщиной 0,5 мм, при этом эффективность действия взрывных устройств увеличивается до 26 %, по сравнению

со штатными изделиями (средняя глубина пробития штатных зарядов ЗПКС-80 составляет 75 мм).

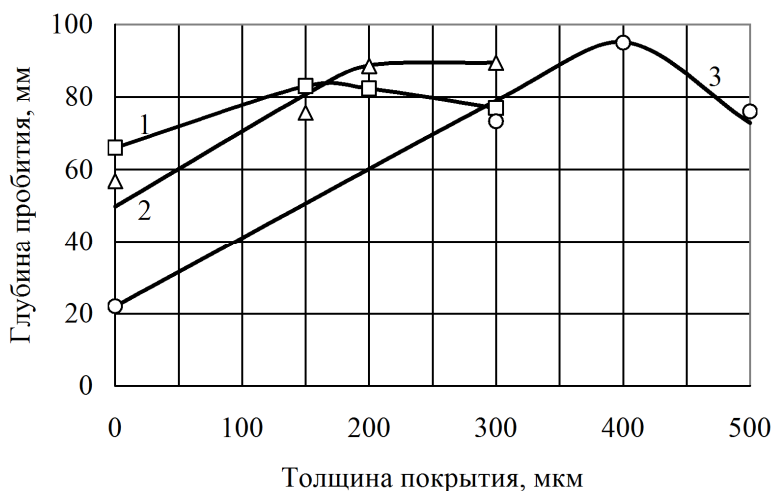


Рис. 4. Зависимость глубины пробития стальной мишени от толщины покрытия КО:
1 – заготовка из меди толщиной 0,8 мм, 2 – заготовка из меди толщиной 0,5 мм,
3 – заготовка из алюминия толщиной 0,5 мм

Теоретические исследования показывают возможность дальнейшего повышения пробивной способности КЗ. Дальнейшее совершенствование конструкции кумулятивной облицовки может быть связано с оптимизацией толщины и материала подложки, вида напыляемого материала, а также изготовлением КО с переменной толщиной покрытия по сечению.

Заключение

1. Предложен новый способ изготовления многослойных КО, основанный на нанесении покрытия из высокоплотного порошкового материала детонационным способом на металлическую облицовку.

2. С применением предложенной технологии изготовлены опытные образцы КО с толщиной покрытия 0,1...0,5 мм и заряды ЗПКС-80 на их основе. Сравнительные испытания изделий по пробитию пакета стальных пластин показали, что эффективность действия взрывных устройств увеличивается до 26 %, по сравнению со штатными образцами.

3. Дальнейшее повышение пробивной способности КЗ возможно путем оптимизации толщины и материала подложки, вида напыляемого материала, а также изготовлением КО с переменной толщиной покрытия по сечению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. – изд. 3-е, переработанное. – в 2т., т.1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002, - 832с.
2. Пат. 2151362. Российская Федерация, МПК7 F 42 В 1/036. Кумулятивный заряд с биметаллической облицовкой и способ её изготовления / В.Г. Смеликов, В.М. Базилевич и др.; заявитель и патентообладатель ГНПП "Базальт". № 99109200/02; заявл. 23.04.99; опубл. 20.06.2000.
3. Калашиников В.В. Технология изготовления облицовок кумулятивных зарядов, обладающих повышенной пробивной способностью / В.В. Калашиников, Д.А. Деморецкий, О.В. Трохин и др. // Известия СНЦ РАН. – 2011. – т. 13. - № 1(2). – С. 373-376.

4. *Калашиников В.В.* Технология создания наноструктурированных покрытий детонационным методом с применением конденсированных взрывчатых веществ и газовых смесей / *В.В. Калашиников, М.В. Ненасhev, Д.А. Деморецкий* и др. // Известия СИЦ РАН, 2009. – Спецвыпуск. – С.57-60.

Статья поступила в редакцию 10 июня 2011 г.

DETONATION METHOD AND MANUFACTURING SHAPED CHARGES WITH MULTILAYER LINERS

***V.V. Kalashnikov, D.A. Demoretsky, M.V. Nenashev, O.V. Trohin,
P.V. Rogozhin, I.V. Nechaev, S.U. Ganigin, A.A. Andreev***

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

In this paper we propose a new method of manufacturing shaped charge liner, which increases the penetration of products, the results of calculations based on mathematical modeling of charge with double-layer cladding, manufactured with detonation spraying method. The results of tests with facing charges, made by the proposed method, the penetration of steel targets.

Keywords: *shaped charge, the cumulative lining, jet stream, detonation coating.*

Vladimir V. Kalashnikov – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Dmitriy A. Demoretsky – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Maksim V. Nenashev – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Oleg V. Trohin – Candidate of Technical Sciences.

Pavel V. Rogozhin – Aspirant.

Iliya V. Nechaev – Candidate of Technical Sciences, Associate professor

Sergey U. Ganigin – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.

Aleksey A. Andreev – Student.